عملکرد لرزه ای غیرخطی ستون کوتاه در سازه‌های بتن آرمه با اختلاف تراز طبقه*

«یادداشت پژوهشی»

علی خیرالدین[۱] علی کارگران[۲]

چکیده وجود پدیده‌ی ستون کوتاه یکی از عوامل مؤثر خرابی ساختمان‌ها در زلزله‌های گذشته می باشند . این پدیده‌ی مخرّب به دلیل اختلاف طول ستون در یک طبقه مشخص رخ می‌دهد که عمدتاً به دلیل قرارگرفتن ساختمان روی سطح شیبدار یا محدود شدن ستون و دیوار با عناصر غیرسازه‌ای نظیر دیوارهای آجری و بازشوها و یا وجود اختلاف تراز طبقه در سازه‌های با اختلاف تراز طبقه می‌باشد. ملاحظات معماری از قبیل قرار گیری پیلوت و یا واحدهای تجاری در همکف و یا جلوگیری از تجمّع ورودی های مختلف در مجتمع های آپارتمانی، سازه‌های با اختلاف تراز طبقه را پدید می آورد که در آن ها کف های طبقات با اختلاف ترازی نسبت به هم در دو یا چند تراز ارتفاعی مختلف ایجاد می‌شوند. در سازه‌های با اختلاف تراز طبقه عمده‌ی مشکلات ناشی از عدم پیوستگی دیافراگم کف می باشد که باعث تغییرات چشم گیری در پریود و سختی و پخش نیروی زلزله و بارگذاری لرزه ای سازه می گردد. در این تحقیق به بررسی رفتار غیرخطی ستون های کوتاه بتن آرمه در قالب سازه های با اختلاف تراز طبقه٤ ، ۸ و۱۰ طبقه پرداخته شده است. ستون های کوتاه و سازه های مورد نظر تحت دو رکورد زلزله طبس و السنترو با شتاب‌های مختلف حداکثر زمین (PGA) با کمک نرم افزار IDARCv6.0 مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرارگرفته اند. در این تحلیل نتایج حاصل از حداکثر پاسخ، برش، شاخص کلی خسارت و تاریخچه زمانی آنها، نسبت سهم ستون کوتاه در خرابی سازه و . . . برای هر رکورد زلزله مورد بررسی و ارزیابی قرارگرفته اند.

واژه‌های کلیدی ستون کوتاه، سازه با اختلاف تراز طبقه، بتن آرمه، شاخص خسارت، آنالیز دینامیکی غیرخطی، شتاب حداکثر زمین (PGA)

Seismic Behavior of Short Column in RC Structures with Different Floor Level

A. Kheyroddin A. Kargaran

Abstract *Engineering structures as well as office or apartment buildings are affected by earthquakes. A common cause of failure seems to be shear stresses. The earthquake tremor developed at different floor levels need to be brought down along the height to the ground by the shortest path. Short column phenomenon is one of the frquent causes of buildings failure in the past earthquakes. This destructive phenomenon is due to the column height difference in a story level that is predominantly owing to the location of building on sloppy ground. These buildings have unequal height columns along the slope, which causes poor effects like twisting and damage in shorter columns. In some buildings, few or no walls are provided at the first story (pilot). In the structures with difference in the story levels, major problems is due to the discontinuity of floors diaphragm that causes significant changes in natural period, stiffness and distribution of earthquake forces. In this study, at first, seismic behavior of short column phenomenon is determined, then, nonlinear behavior of RC short columns in the 4, 8 and 10 story buildings with story level difference is investigated. Short columns and mentioned structures are analyzed under the earthquake records of Elcentro and Tabas with different peak ground acceleration using IDARC software which is nonlinear dynamic analysis program. In this investigation, the results of maximum response, base shear, global damage index and displacement time history and effect of short column in structural failure are evaluated.*

Key Words Short Column, Building with Different Floor Level, Reinforced Concrete, Damage Index, Nonlinear Dynamic Analysis, PGA.

---

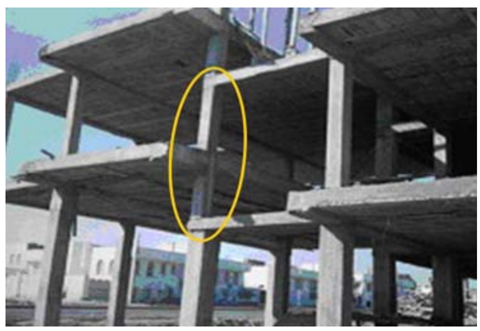
* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۸۷/۷/۲ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۸۸/۱۲/۹ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) استاد، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

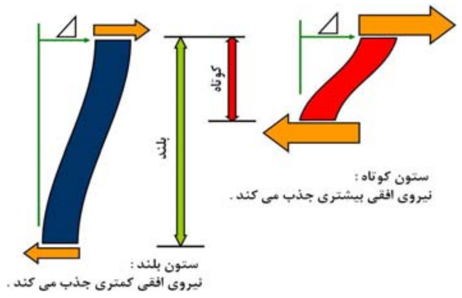
(۲) نویسنده‌ی مسئول، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، کارشناس ارشد مهندسی زلزله

مقدمه

در سازه‌های با اختلاف تراز طبقه‌ی کف های طبقات با اختلاف ترازی نسبت به هم در دو یا چند تراز ارتفاعی مختلف ایجاد می‌شوند. طول مؤثر ستون‌های واقع در فصل مشترک این سازه‌ها به اندازه‌های کوچکتری تقسیم می‌شود که هر یک از آن‌ها به صورت یک ستون کوتاه عمل می‌کنند (شکل (۱)). در سازه‌ها مشکلات عمده‌ی ناشی از عدم پیوستگی دیافراگم کف می‌باشد. دیافراگم‌ها نقش مهمی در انتقال نیروهای جانبی بین اعضای مقاوم در برابر زلزله دارند؛ به طوری که هر گونه نامنظمی یا انقطاع در دیافراگم کف، باعث تمرکز تنش در محل اتصال آن‌ها با اجزای قائم می‌گردد. مهم‌ترین نقش آن‌ها انتقال نیروهای اینرسی ناشی از زلزله به ستون‌هاست که با توجه به اختلاف سختی ستون‌ها، قسمت زیادی از این نیروها به ستون‌های کوتاه طبقه می‌رسد که در صورت عدم طراحی مناسب، هنگام زلزله دچار آسیب جدّی می‌گردند (شکل (۲)). نکته‌ی حائز اهمیّت در این سازه‌ها وجود اختلاف ارتفاع بین دو جزء سازه با اختلاف تراز طبقه می‌باشد که باعث تغییرات چشم‌گیری در پریود، سختی و پخش نیروی زلزله و بارگذاری لرزه ای سازه می‌گردد. بر اساس مطالعات و تحقیقات انجام شده در خصوص نیروهای وارد بر فصل مشترک سازه‌های دوبلکسی، مشخص شده است که نیروی برشی در ستونی (ستون کوتاه) که دو سازه‌ی با اختلاف تراز طبقه را به هم متصل می‌کند، نسبت به برش در ستون مشابه در سازه‌ی معمولی بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد [۱].



شکل ۱ ستون‌های کوتاه سازه بتن مسلح با اختلاف تراز طبقه [۱]



شکل ۲ مقایسه ستون کوتاه و بلند [۱]

باتوجه به اهمیت این موضوع، محققین بسیاری در این زمینه تحقیق نموده‌اند که از آن جمله می‌توان به مطالعات موریتی و تاسیوس [2,3] اشاره کرد که با آزمایش روی ۸ نمونه ستون کوتاه بتن آرمه، تحت بار محوری ثابت و تغییرمکان های استاتیکی رفت و برگشتی و اندازه‌گیری کرنش‌های بتن و فولاد، نتایج طراحی لرزه‌ای با نسبت برش کم و رفتار لرزه‌ای ستون‌های کوتاه را مورد ارزیابی و بررسی قرارداده‌اند و یک مدل خرپائی برای شبیه‌سازی رفتار ستون‌های کوتاه بتن آرمه درگسیختگی، برای فهم و درک بهتر مکانیزم خرابی و با توزیع نیروها در ستون‌ها پیشنهاد داده‌اند. همچنین مطالعات آزمایشگاهی بر روی رفتار غیرخطّی نمونه‌های مختلف ستون کوتاه، با کم و زیادکردن میزان خاموت، هنگامی که با صفحات CFRP و GFRP (الیاف کربنی) تقویت شده‌اند، تحت اثر تغییر مکآن‌های رفت و برگشتی جانبی و بار فشاری ثابت بر حسب تغییرات بارگذاری و شکل پذیری توسط محققینی چون کولمب و همکاران [4]، پرومیس و همکاران [5]، جلال و همکاران [6]، قبارا و جلال[7]، یه و همکاران [8] و جلال و قبارا [9] انجام شده است.

بخشی و تابش پور [۱۰] تأثیر میان‌قاب و پدیده‌ی ستون کوتاه را با نرم افزارIDARC و با شتاب نگاشت زلزله‌ی طبس با شتاب بیشینه‌ی ۰/۳۵g مورد تحلیل دینامیکی غیرخطّی قرارداده‌اند. عباس نیا و برقی [۱۱] با بررسی انواع انهدام ستون‌ها زیر اثر بار جانبی دوره‌ای یا

زلزله، پارامترهایی که به لحاظ فیزیکی در نوع انهدام تأثیردارند، شناسایی و تعریف کرده و با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و نتایج بارگذاری بر روی تعدادی نمونه، مدل جدیدی برای پیش‌بینی نوع انهدام ستون‌ها معرفی کرده‌اند. خیرالدین و میرنظامی [۱] با آنالیز۳ ساختمان فلزی ۵ ، ۱۰ و ۱۵ طبقه پارامترهای لرزه‌ای؛ اعم از تغییرات دوره‌ی تناوب، تغیرمکان و همچنین تشکیل ستون کوتاه و عوامل تشدید کننده‌ی آن را مورد بررسی و روشی برای بارگذاری استاتیکی معادل ساختمآن‌های با اختلاف تراز طبقه پیشنهاد داده‌اند. خیرالدین و میرنظامی [۱۲] با بررسی رفتار غیرخطّی بیش از ۳۰ مدل سازه با اختلاف تراز طبقه فلزی با ٦ جزئیات مختلف و مقایسه‌ی آن‌ها در شرایط مختلف، اختلاف تراز طبقه‌ی دوبلکسی، اثرات تقویت بال و جان، ورق پیوستگی و سخت کننده، مناسب ترین روش و جزئیات اجرائی را برای اتصالات خمش قاب‌های با اختلاف تراز طبقه و دارای پدیده‌ی ستون کوتاه، پیشنهاد داده‌اند.

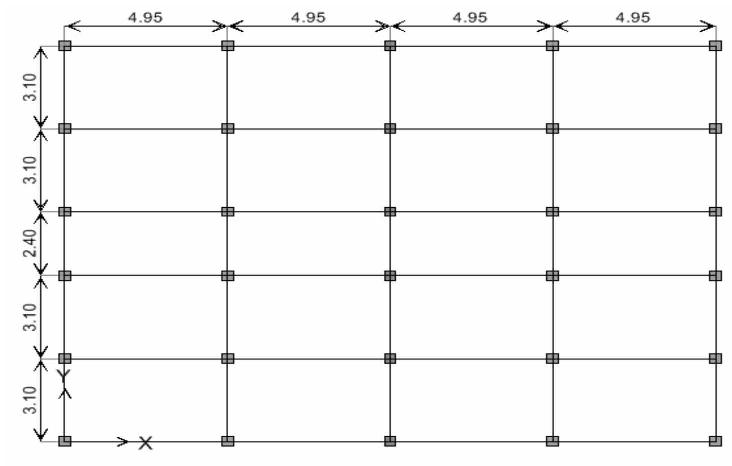
معرفی مسأله و روش تحقیق

در این تحقیق، عملکرد و رفتار لرزه‌ای ستون‌های کوتاه در سه سازه که دارای اختلاف تراز ارتفاعی ۱/٦ متر می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفته است. پلان هر سه سازه به صورت کاملاً یکسان فرض گردیده و از لحاظ ارتفاع، متغیر و شامل سازه‌های ٤ طبقه، ۸ طبقه و ۱۰ طبقه می‌باشد. پلان سازه‌ها به ابعاد ۱٤/۸ × ۱۹/۸ متر مربع بوده که دارای ۵ دهانه‌ی ٤/۹۵ متری در جهت x و ٤ دهانه‌ی ۳/۱ متری و یک دهانه‌ی ۲/٤ متری در جهت y می‌باشد (شکل (۳)). به دلیل کاربردی بودن طرح، ابعاد و دهانه‌ها، واقعی و سازه متقارن در نظر گرفته شده است. سیستم باربر جانبی (سیستم لرزه بر) در تمامی سازه‌ها بر طبق آیین نامه‌ی زلزله‌ی ایران استاندارد ۲۸۰۰ [۱۳] از لحاظ شکل پذیری از نوع قاب خمشی بتنی متوسط و برای بارگذاری ثقلی مبحث ششم مقررات ملی [۱٤] استفاده شده است. از آن جایی که سازه با اختلاف تراز طبقه در ارتفاع نامنظم محسوب می‌شود، بارگذاری لرزه‌ای از دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی انجام شده است. ابعاد ستون‌ها و تیرها در سازه‌ی ٤ طبقه به ترتیب در طبقه‌ی اول، دوم و دو طبقه‌ی آخر ٤۵ ×٤۵، ٤۰×٤۰ و ۳۵×۳۵ سانتی‌متر و ابعاد تیرها ٤۰×۳۰ و ۳۵× ۳۰ سانتی‌متر در هر ۲ طبقه تیپ بندی شده‌اند. در سازه‌ی ۸ طبقه، ستون‌ها در دو طبقه‌ی اول ۵۰×۵۰ سانتی‌متر، در طبقه‌ی دوم ٤۵×٤۵ سانتی‌متر، در طبقه‌ی سوم ٤۰×٤۰ سانتی‌متر و دو طبقه‌ی آخر ۳۵×۳۵ سانتی‌متر و برای تیرها به ترتیب ۵۰×٤۵ ، ٤۵×٤۵ ،٤۰×۳۵ و ۳۵×۳۰ سانتی‌متر تیپ بندی انجام شده است. در سازه‌ی ۱۰ طبقه، مشابه سازه‌ی ۸ طبقه به جز در ۲ طبقه‌ی اول، ابعاد ستون‌ها ۵۵×۵۵ سانتی‌متر و ابعاد تیرها ۵۵×۵۰ سانتی‌متر می‌باشد.

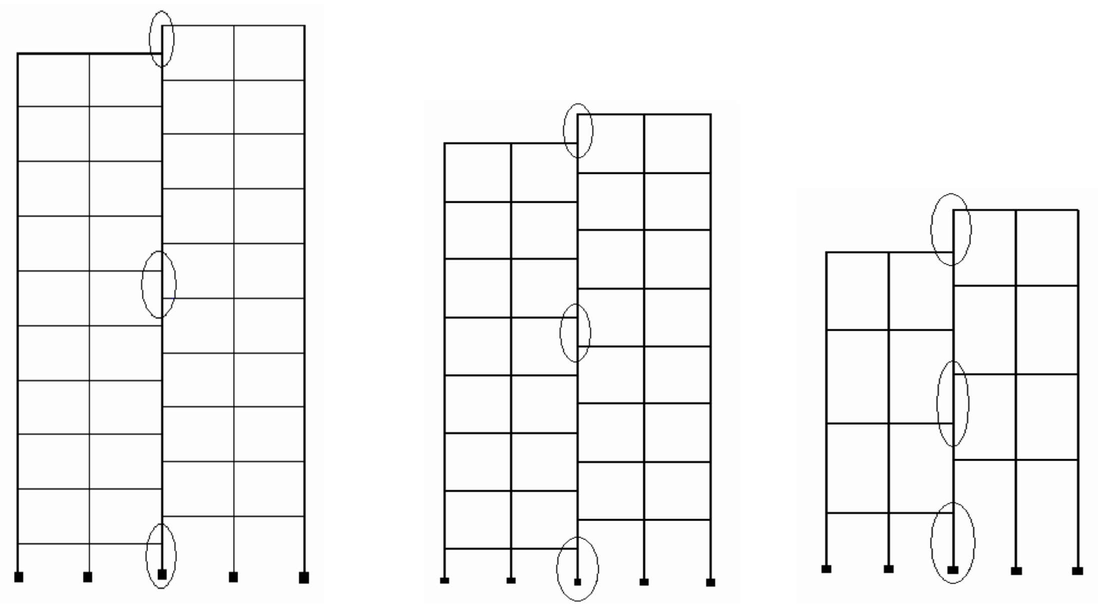
خسارت وارد بر المان‌های سازه‌ای از طریق یک فرآیند پیش رونده و در مسیری که منجربه شکست آن می‌گردد، رخ می‌دهد. این روند، شامل مرحله‌ی خسارت در مقیاس های کوچک، ناشی از تجمع تنش‌های جزئی، خسارت در مقیاس متوسط، شامل رشد ترک‌ها و گسترش آن‌ها و خسارت در مقیاس بزرگ که سازه با فروریختگی همراه است، می‌باشد. برای بررسی رفتار واقعی سازه هنگام زلزله، لازم است که سازه‌ها تحت یک آنالیز غیر خطی قرار گیرند. به این منظور از برنامه‌ی غیر خطی IDARC v6.0 [15] که جهت آنالیز غیر خطی سازه‌های بتن آرمه تهیه شده و قابلیت ایجاد چرخه های هیسترزیس از روی مشخصات هندسی مقاطع بتن آرمه را داراست و شاخص خسارت به کار رفته در آن شاخص خسارت اصلاح شده Park-Ang -Wen می‌باشد، استفاده شده است.

یکی از قابلیت های نرم افزار غیر خطی IDARC، مدل‌سازی و نشان دادن رفتار سازه در یک بازه‌ی زمانی در طول مدت اعمال زلزله به سازه می‌باشد که در آن قابلیت‌های مختلفی برای تحلیل سازه به روش‌های استاتیکی و دینامیکی گنجانده شده است. تحلیل سازه با استفاده از روش‌های مختلف، امکان تشخیص نقاط

ضعف و قوت سازه را از جنبه‌های مختلف، امکان پـذیر نموده و طراح را در تصمیم گیـری بـرای تقویـت نقـاط ضعف سازه یاری می‌دهد. در ایـن تحقیـق، ابتـدا میـزان خسارت در سـتون‌هـای کوتـاه واقـع در قـاب خـارجی سـازه‌هـای ٤ ، ٨ و ١٠ طبقـه، تحـت PGA هـای ۰/۳g، ۰/۵g و ۰/۷g، بررسی و مقایسه می‌شود. سپس با انتخاب سه المان از قاب خارجی سازه‌ها که شامل سـتون کوتـاه طبقه‌ی آخر، طبقه‌ی وسط و طبقه‌ی اول (مشخص شـده در شکل (٤)) مـی‌باشـد. نتـایج زیـر بررسـی و مقایـسه می‌گردند:



شکل۳ پلان سازه‌ها [۱۷]

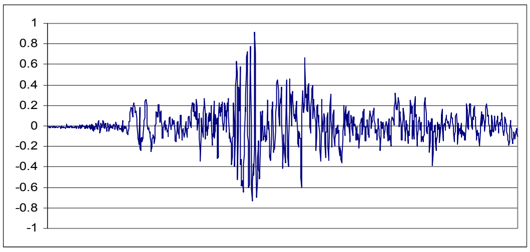


سازه۱۰ طبقه　　سازه ۸ طبقه　　سازه ٤ طبقه

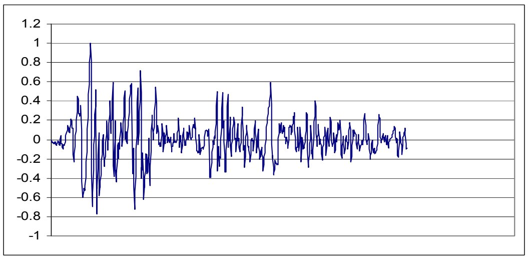
شکل ٤ موقعیت ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول در قاب خارجی سازه‌ها [۱۷]

- تاریخچه زمانی پاسخ تغییر مکان ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول
- تاریخچه زمانی نیروی برشی ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول
- شاخص خسارت در بالا و پایین ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول

در این تحقیق، جهت تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی از یک زلزله ایرانی و یک زلزله خارجی (زلزله طبس و السنترو) (شکل‌های (۵) و(٦)) استفاده شده است. هر دو زلزله، دارای ارتعاش نسبتاً طولانی و بی‌قاعده‌ای بوده که این از خصوصیات زلزله هایی است که دارای عمق متوسط و سنگ بستر سخت می‌باشند [16].



شکل ٥ شتاب نگاشت زلزله طبس [۱۷]



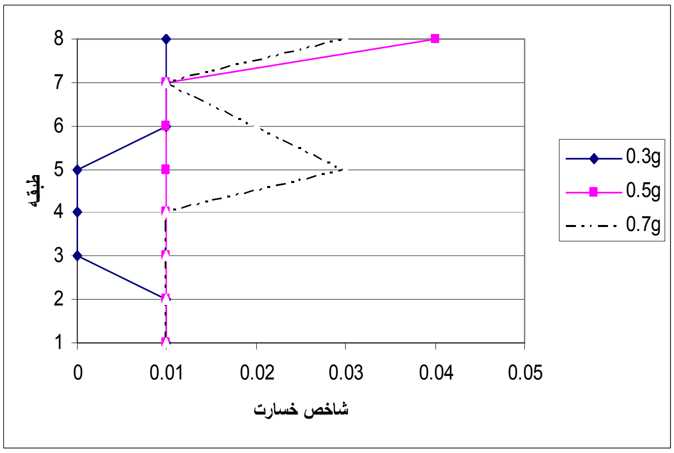
شکل ٦ شتاب نگاشت زلزله السنترو [۱۷]

نتایج عملکرد ستون‌های کوتاه تحت زلزله طبس

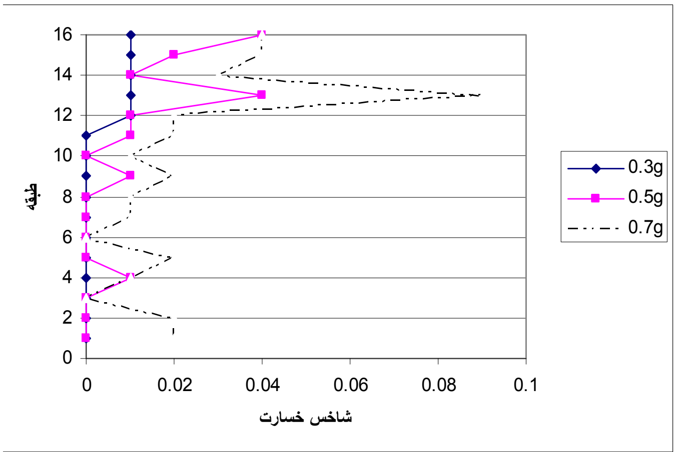
بررسی میزان خسارت ستون‌های کوتاه در طبقات سازه‌ها. به دلیل وجود اختلاف تراز در هر طبقه از سازه‌ها، در هر طبقه دو سقف به وجود می‌آید ، مثلاً سازه ٤ طبقه، عملاً دارای ۸ تراز ارتفاعی یا سقف می‌باشد و به یک سازه‌ی ۸ طبقه تبدیل می‌گردد. بررسی و مقایسه‌ی نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد که در همه‌ی سازه‌ها با افزایش شتاب زلزله (PGA)، میزان خسارت در ستون‌های کوتاه در طبقات مختلف، افزایش می‌یابد، به‌جز در طبقات پایینی سازه‌ی ٤ طبقه که میزان خرابی در شتاب های مختلف برابر است (شکل (۷)). در همه‌ی سازه‌ها با افزایش ارتفاع سازه، شاخص خسارت ستون‌های کوتاه طبقات بالایی بیشتر از طبقات پایینی می‌گردد. در سازه‌های ۸ طبقه و ۱۰ طبقه، خرابی در ستون‌های کوتاه به ترتیب تا طبقه‌ی ٦ و ۸ در شتاب ۰/۳g وجود ندارد و شاخص خسارت آن‌ها صفر است (شکل (۸) و (۹)).

بررسی درصد خرابی ستون‌های کوتاه در شتاب‌های (PGA) مختلف. از آن جایی که با افزایش شتاب زلزله خرابی در ستون‌های کوتاه افزایش یافته، مقایسه نمودار شکل (۱۰) نشان می‌دهد که متوسط درصد خرابی ستون‌های کوتاه در شتاب‌های ۰/۷g و ۰/۵g نسبت به شتاب ۰/۳g با افزایش تعداد طبقات، زیاد می‌گردد و سازه‌ی ۱۰ طبقه، بیشترین و سازه‌ی ٤ طبقه، کم‌ترین درصد متوسط خرابی در ستون‌های کوتاه را دارند.

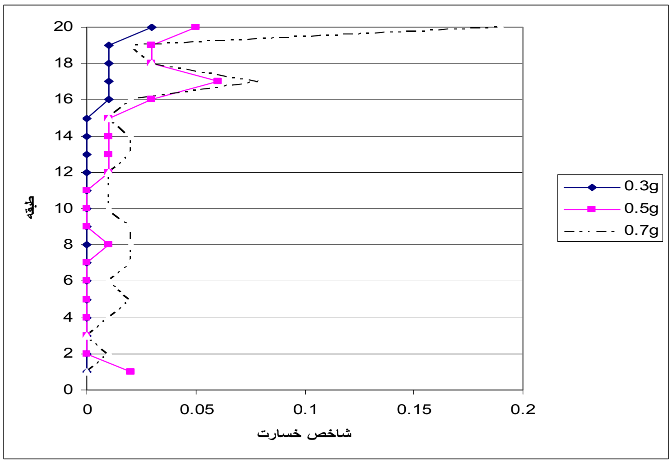
بررسی نسبت سهم ستون کوتاه در خرابی کل سازه. با مقایسه‌ی نسبت خرابی ستون کوتاه به خرابی کل سازه مطابق نمودار شکل (۱۱) استنتاج می‌شود که ستون‌های کوتاه سازه‌ی٤ طبقه در شتاب‌های ۰/۳g و ۰/۵g دارای درصد سهم بیشتری نسبت به سازه‌های با تعداد طبقه‌های بیشتر در خرابی کل سازه هستند. مثلاً در شتاب ۰/۳g، سازه ٤ و ۸ و۱۰ طبقه به ترتیب ۲۵ و۱۰ و ۹ درصد از خرابی کل سازه به خرابی ستون‌های کوتاه اختصاص دارد؛ به عبارتی هر چه ارتفاع سازه افزایش یابد، در شتاب‌های پایین زلزله (۰/۵g و ۰/۳g)، سهم ستون کوتاه از خرابی کل سازه کم می‌شود. در شتاب ۰/۷g سهم خرابی ستون کوتاه در سازه‌ی ۱۰ طبقه بیشتر است.



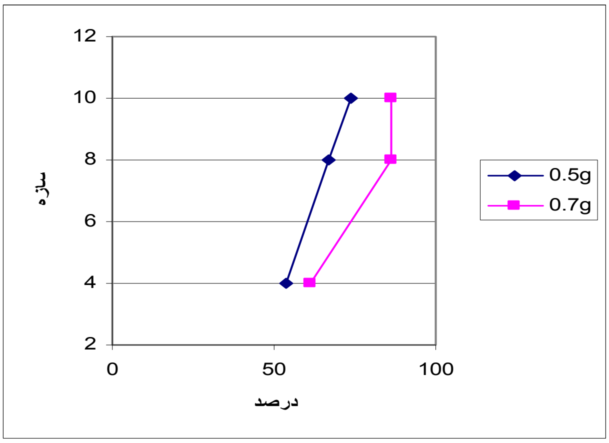
شکل ۷ شاخص خسارت ستون‌های کوتاه در طبقات سازه‌ی ٤ طبقه



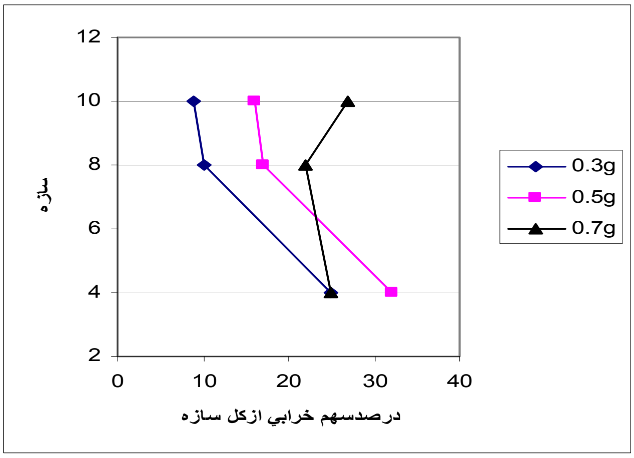
شکل ۸ شاخص خسارت ستون‌های کوتاه در طبقات سازه‌ی ۸ طبقه



شکل ۹ شاخص خسارت ستون‌های کوتاه در طبقات سازه‌ی ۱۰ طبقه



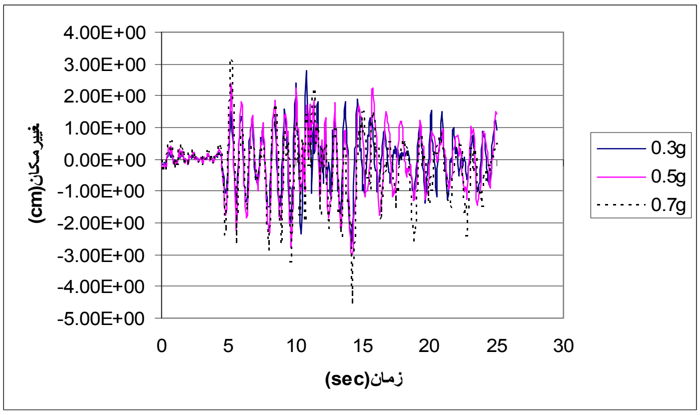
شکل ۱۰ افزایش متوسط درصد خرابی ستون‌های کوتاه درشتاب‌های ۰/۷g و ۰/۵g نسبت به شتاب ۰/۳g در سازه‌ها برحسب تعداد طبقات



شکل ۱۱ سهم ستون کوتاه در خرابی کل سازه بر حسب تعداد طبقات سازه‌ها

بررسی تاریخچه‌ی پاسخ تغییر مکان ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول. از بررسی و مقایسه‌ی میزان تغییر مکان ستون‌های کوتاه نسبت به تغییرات زمان در طول مدت زلزله که به صورت موردی برای ستون کوتاه طبقه‌ی۱ سازه‌ی ٤ طبقه در شکل (۱۲) ارائه گردیده، نتیجه می‌شود که ستون کوتاه طبقه‌ی وسط در سازه‌ی ٤ طبقه دارای تاریخچه‌ی تغییر مکان بیشتری است، ولی در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه، ستون کوتاه طبقه‌ی آخر، دارای بیشترین تغییر مکان می‌باشد. در تمامی حالات با افزایش شتاب زلزله و ارتفاع سازه، تاریخچه‌ی تغییر مکان نیز افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از این بررسی در جدول شماره‌ی (۱) ارائه شده است؛ مثلاً پاسخ ستون طبقه‌ی۱ در سازه‌ی ٤ طبقه، حدود ۳۵٪ بیشتر از سازه‌ی ۸ طبقه و۵۰٪ بیشتر از سازه‌ی ۱۰ طبقه است. همچنین ستون کوتاه طبقه‌ی وسط در سازه‌ی٤ طبقه دارای تاریخچه‌ی پاسخ بیشتری است که مطابق جدول، حدود ۳۳ ٪ بیشتر از ستون کوتاه طبقه‌ی وسط در سازه‌ی ۸ طبقه و ٤۰ ٪ بیشتر از ستون کوتاه طبقه‌ی وسط در سازه‌ی ۱۰ طبقه است، همچنین ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه، دارای بیشترین تاریخچه‌ی پاسخ می‌باشد؛ به طوری که تاریخچه‌ی تغییر مکان آن در سازه‌ی ۱۰ طبقه، حدود ۲۸ ٪ از سازه‌ی ۸ طبقه و ۵۸ ٪ بیشتر از سازه‌ی ٤ طبقه است.



شکل ۱۲ تاریخچه‌ی پاسخ تغییر مکان جانبی ستون کوتاه طبقه‌ی اول در سازه‌ی ٤ طبقه

جدول ۱ افزایش تاریخچه‌ی پاسخ تغییر مکان ستون‌های کوتاه در سازه‌ها نسبت به یکدیگر

ستون کوتاه	سازه‌ی ٤ طبقه	سازه‌ی ۸ طبقه	سازه‌ی ۱۰ طبقه
طبقه‌ی اول	افزایش نسبت به سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه	٪۳٥	٪ ٥۰
طبقه‌ی وسط	افزایش نسبت به سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه	٪ ۳۳	٪ ٤۰
طبقه‌ی آخر	٪ ٥۸	٪ ۲۸	افزایش نسبت به سازه‌های ٤ و ۸ طبقه

بررسی تاریخچه‌ی نیروی برشی ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول. از بررسی و مقایسه‌ی میزان نیروی برشی نسبت به تغییرات زمان در طول مدت زلزله که به صورت موردی برای ستون کوتاه طبقه‌ی اول سازه‌ی ٤ طبقه در شکل (۱۳) ارائه شده، نتیجه می‌شود که تاریخچه‌ی نیروی برشی ستون کوتاه طبقه‌ی وسط در سازه‌ی ٤ و ۸ طبقه، دارای تاریخچه‌ی برش بیشتری نسبت به ستون‌های طبقات اول ، آخر و ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه، دارای سهم برش بیشتری نسبت به ستون‌های کوتاه طبقات اول و وسط می‌باشد. مثلاً در سازه‌ی ۱۰ طبقه، ستون کوتاه طبقه‌ی آخر حدود ۳٥ و ٦۰ ٪ برش بیشتری نسبت به ستون کوتاه طبقات وسط و اول دارد و در سازه‌ی ٤ طبقه، ستون کوتاه طبقه‌ی وسط حدود ٤٤ و ۱۱ ٪ و در سازه ۸ طبقه، ستون کوتاه طبقه وسط حدود ۱۷ و ٤۱ ٪ برش بیشتری نسبت به ستون کوتاه طبقات اول و آخر دارد.

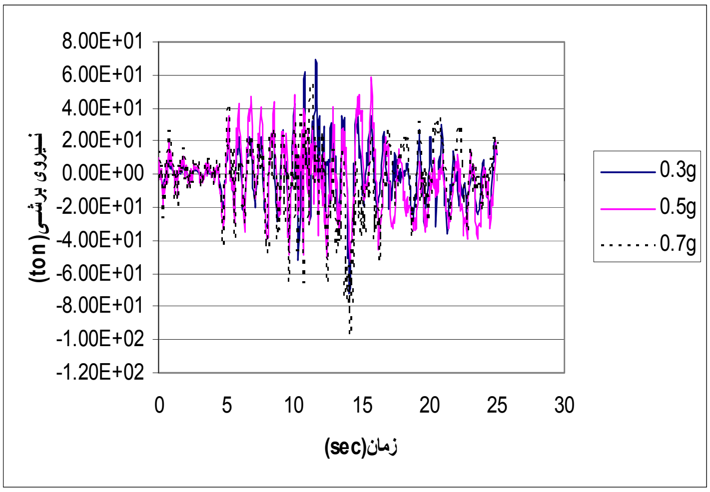
نکته‌ی حائز اهمیت این که در سازه‌ی ۸ و ۱۰ طبقه، تاریخچه نیروی برشی در ستون کوتاه طبقات آخر و وسط، در شتاب ۰/٥g بیشتر از شتاب ۰/۷g است که این میزان، حدود ۳٥ تا ٥۰ ٪ می‌باشد.

از مقایسه‌ی نتایج حاصل از تاریخچه‌یی نیروی برشی در ستون‌های کوتاه طبقات مختلف در سازه‌های ٤، ۸ و ۱۰ طبقه در جدول شماره‌ی (۲) نتیجه می‌شود که ستون کوتاه طبقه اول در سازه‌ی ۸ طبقه و ستون کوتاه طبقات آخر و وسط در سازه ۱۰ طبقه، بیشترین مقدار را دارند. برای مثال، در سازه‌ی ۸ طبقه، تاریخچه‌ی نیروی برشی در ستون کوتاه طبقه اول، حدود ۱۲ و ٤۷ ٪ بیشتر از سازه‌ی ۱۰ و ٤ طبقه است.

شاخص خسارت در بالا و پایین ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول سازه‌ها. با بررسی خسارت در بخش‌های بالایی و پایینی ستون‌های کوتاه طبقات

اول، وسط و آخردر نواحی بحرانی اتصال ستون بـه تیـر که به صورت موردی برای سازه‌های ٤ و ٨ طبقه، مطـابق شکل‌های (١٤)، (١٥) ارائـه شـده، نتیجـه مـی‌شـود کـه عمده‌ی خـسارت در سـازه‌هـای ٨ و ١٠ طبقـه، متوجـه ستون کوتاه طبقه‌ی آخـردر قـسمت بـالایی آن بـه دلیـل وجود نیروی شلاقی و عدم توزیع یکنواخت نیروی زلزله در ارتفاع سازه می‌شود. در ستون کوتـاه طبقـه وسـط بـا افزایش ارتفاع و تعداد طبقات، خسارت در بـالا و پـایین ستون کاهش یافته است؛ به طـوری کـه در شـتاب هـای پایین، شتاب‌های ٠/٥g و ٠/٣g، ستون کوتاه وسط، فاقـد خرابی در نواحی بالا و پایین می‌باشـد و تقریبـاً در تمـام سازه‌ها دارای یک شدت خسارت یکسان است. همچنین در قسمت بالا و پایین ستون کوتاه طبقه‌ی اول سـازه‌ی ٤ طبقه در همه‌ی شتاب ها دچار خرابی گشته اسـت، ولـی در سازه‌های ٨ و١٠ طبقه، خرابی در قسمت بالا و پایین، فقط در شتاب‌های بالا مشاهده می‌گردد.

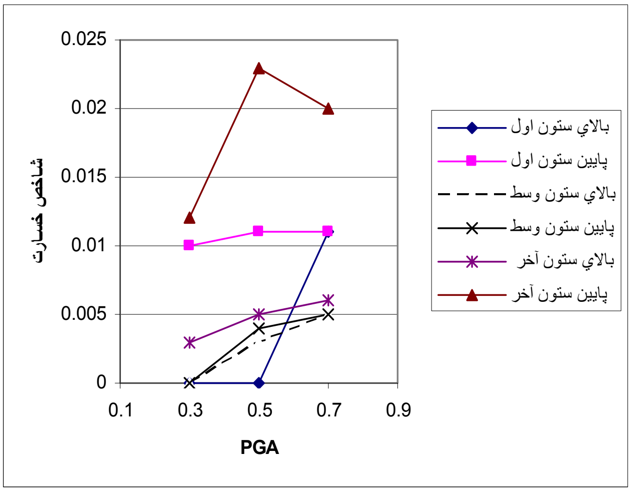
حداکثر خسارت در ستون‌های کوتـاه طبقـه‌ی اول سازه‌ها ، مربوط به سازه‌ی ٤ طبقه در قسمت پایین ستون و در ستون‌های کوتاه طبقه‌ی آخر، مربوط به سازه‌های ٨ و١٠ طبقه در قسمت بالای ستون و قسمت پـایین سـتون در سازه‌ی ٤ طبقه می‌باشد. نواحی بالایی و پایینی سـتون کوتـاه طبقـه‌ی وسـط، در تمـامی سـازه‌هـا دارای میـزان خــسارت تقریبـاً یکــسانی مــی‌باشــد کــه میــزان آن از ستون‌های کوتاه طبقات اول آخر کم‌تر است.



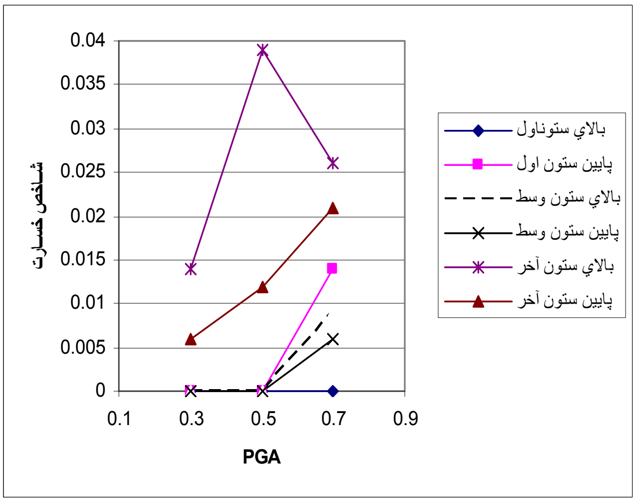
شکل ١٣ تاریخچه‌ی پاسخ نیروی برشی ستون کوتاه طبقه اول در سازه ٤ طبقه

جدول ٢ افزایش تاریخچه‌ی پاسخ نیروی برشی ستون‌های کوتاه در سازه‌ها نسبت به یکدیگر

ستون کوتاه	سازه‌ی ٤ طبقه	سازه‌ی ٨ طبقه	سازه‌ی ١٠ طبقه
طبقه‌ی اول	٪ ٤٧	افزایش نسبت به سازه‌های ٤ و ١٠ طبقه	٪ ١٢
طبقه‌ی وسط	٪ ٣٢	٪ ١٢	افزایش نسبت به سازه‌های ٤ و ٨ طبقه
طبقه‌ی آخر	٪ ٦٠	٪ ٦٧	افزایش نسبت به سازه‌های ٤ و ٨ طبقه



شکل ١٤ شاخص خسارت در بالا و پایین ستون‌های کوتاه سازه‌ی ٤ طبقه



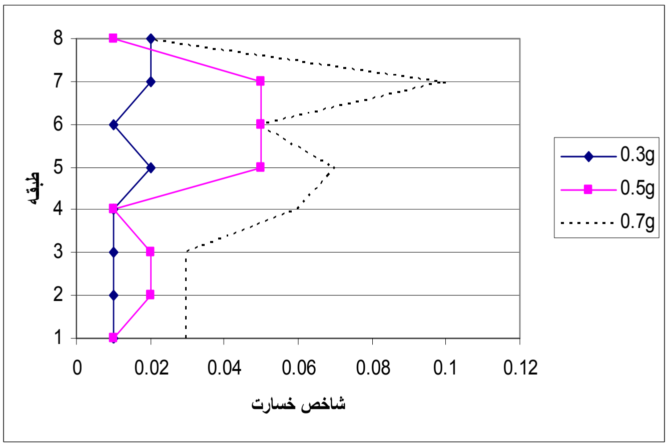
شکل١٥ شاخص خسارت در بالا و پایین ستون‌های کوتاه سازه‌ی ٨ طبقه

نتایج عملکرد ستون‌های کوتاه تحت زلزله السنترو

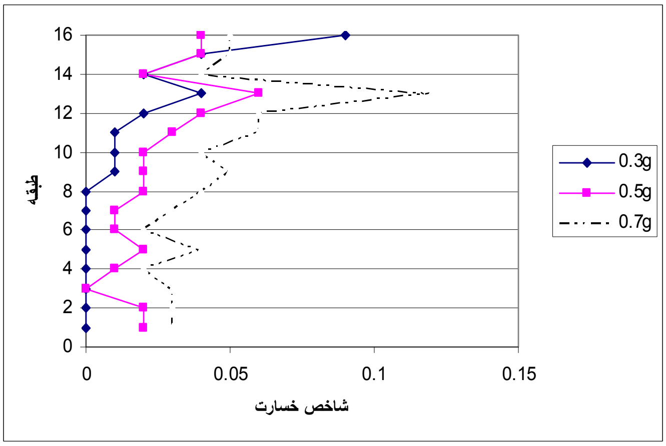
بررسی میزان خسارت ستون کوتاه در طبقات سازه‌ها. بررسی و مقایسه‌ی نتایج حاصل از نمودار شکل‌های (١٦)، (١٧) و (١٨)، نشان می‌دهد که در همه‌ی سازه‌ها با افزایش شتاب زلزله، میزان خسارت در ستون‌های کوتاه در طبقات مختلف، افزایش می‌یابد؛ به جز در سازه ٨ طبقه در شتاب ۰/۳gکه خسارت در ستون کوتاه آخر، بیشترین مقدار را دارد .

در همه‌ی سازه‌ها با افزایش ارتفاع سازه، به ویژه در طبقات بالایی، شاخص خسارت ستون‌های کوتاه افزایش یافته است. در سازه‌های ٨ و ١٠ طبقه، تا طبقات ٤ و ٦، ستون‌های کوتاه، فاقد خرابی می‌باشند (شکل‌های (١٧) و(١٨)).

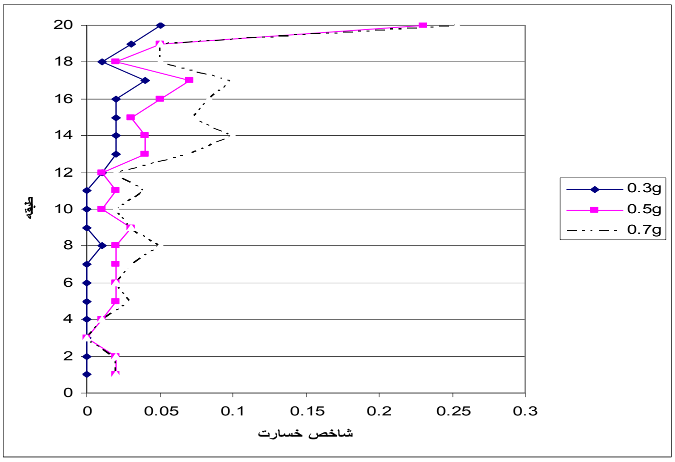
بررسی درصد خرابی ستون‌های کوتاه در شتاب‌های مختلف (PGA). از آن‌جایی که با افزایش شتاب زلزله، خرابی در ستون‌های کوتاه افزایش یافته، مقایسه‌ی نمودارهای شکل (١٩)، نشان می‌دهد که درصد متوسط خرابی ستون کوتاه در ۰/۷g و ۰/۵g نسبت به ۰/۳g در سازه‌ی ١٠ طبقه، دارای بیشترین و درسازه‌ی ٨ طبقه دارای کم‌ترین مقدار است.



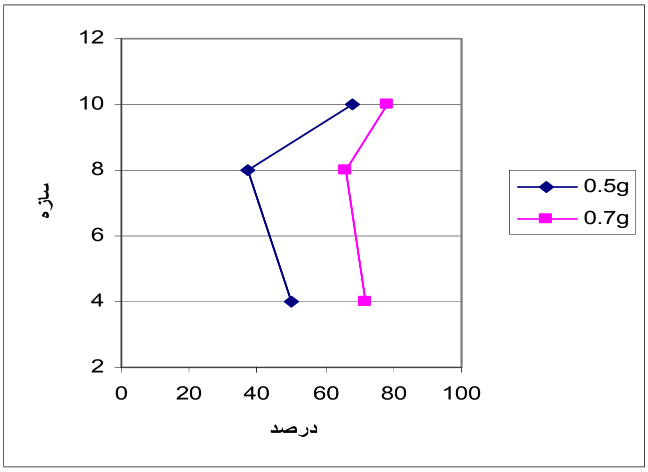
شکل ۱٦ شاخص خسارت ستون کوتاه در طبقات سازه‌ی ٤ طبقه



شکل ۱۷ شاخص خسارت ستون کوتاه در طبقات سازه‌ی ۸ طبقه



شکل ۱۸ شاخص خسارت ستون کوتاه در طبقات سازه‌ی ۱۰ طبقه



شکل ۱۹ افزایش متوسط درصد خرابی ستون‌های کوتاه در شتاب‌های ۰/۷g و ۰/۵g نسبت به شتاب ۰/۳g در سازه‌ها برحسب تعداد طبقات

بررسی نسبت سهم ستون کوتاه در خرابی سازه. از مقایسه‌ی نمودارهای شکل (۲۰) استنتاج می‌شود که ستون‌های کوتاه سازه‌ی ٤ طبقه در ۰/۳g و ۰/۷g دارای درصد سهم بیشتری از خرابی کل سازه هستند. مثلاً در شتاب ۰/۳g، سازه‌های ٤ ، ۸ و ۱۰ طبقه به ترتیب ۲۱ ، ۱۹ و ۱۲ درصد از خرابی کل سازه مربوط به خرابی ستون‌های کوتاه می‌باشد؛ به عبارت دیگر، در شتاب ۰/۳g با افزایش ارتفاع سازه، سهم ستون کوتاه از خرابی کل سازه کم می‌شود و در شتاب‌های ۰/۵g و ۰/۷g، سهم خرابی ستون کوتاه در سازه‌ی ۱۰ طبقه بیشتر است.

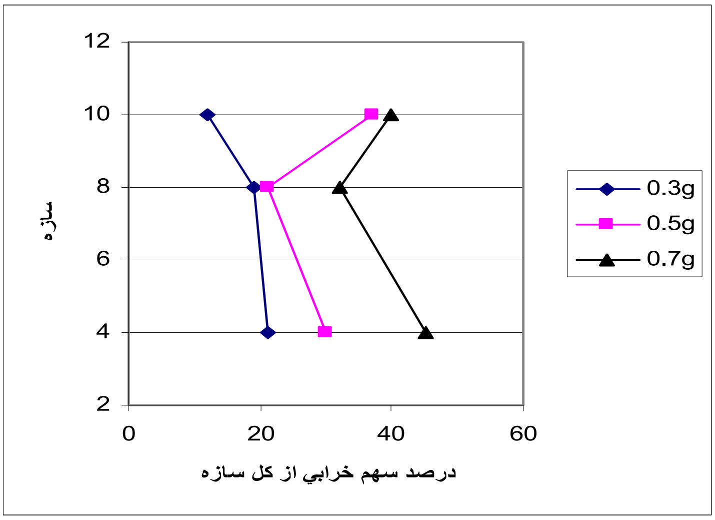
بررسی تاریخچه‌ی تغییر مکان ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول در سازه‌ی ٤ طبقه. از بررسی و مقایسه‌ی میزان تغییر مکان ستون‌های کوتاه نسبت به تغییرات زمان در طول مدت زلزله که به صورت موردی برای ستون کوتاه طبقه‌ی اول سازه‌ی ٤ طبقه در شکل (۲۱) ارائه گردیده، نتیجه می‌شود که به طور متوسط، تاریخچه‌ی تغییر مکان ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در هر سه سازه؛ ٤ ، ۸ و ۱۰ طبقه از ستون‌های کوتاه های طبقات وسط و اول بیشتر است. در همه‌ی سازه‌ها با افزایش شتاب، تاریخچه‌ی زمانی تغییر مکان ستون‌های کوتاه افزایش می‌یابد. در سازه‌های ۸ و۱۰ طبقه، تقریباً حدود ۲۵ تا ۳۰ ٪ می‌باشد و نیز در سازه‌ی ٤ طبقه، ستون کوتاه طبقه‌ی اول در شتاب‌های ۰/۳g و ۰/۵g دارای متوسط تاریخچه‌ی تغییر مکان بیشتری نسبت به شتاب ۰/۷g است.

از مقایسه‌ی نتایج حاصل از تاریخچه‌ی تغییر مکان ستون‌های کوتاه طبقات مختلف در سازه‌های ٤، ۸ و ۱۰ طبقه در جدول شماره‌ی (۳)، نتیجه می‌شود که تاریخچه‌ی تغییر مکان ستون کوتاه طبقات اول و وسط در سازه‌ی ٤ طبقه و ستون کوتاه طبقه آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه، نسبت به سازه‌های دیگر بیشتر است. برای مثال، تاریخچه‌ی تغییر مکان ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه به طور متوسط حدود ۲٦ ٪ بیشتر از سازه‌ی ۸ طبقه و ٥٦ ٪ بیشتر از سازه‌ی ٤ طبقه است.

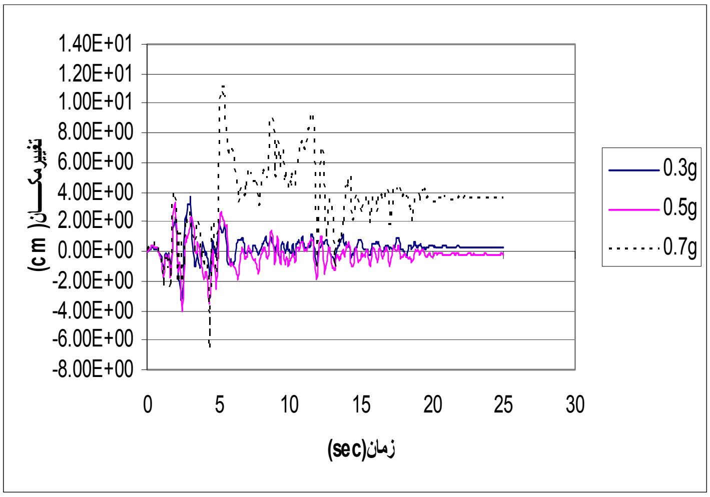
بررسی تاریخچه‌ی نیروی برشی ستون کوتاه طبقات آخر، وسط و اول در سازه‌ی ٤ طبقه. از بررسی و مقایسه‌ی میزان نیروی برشی نسبت به تغییرات زمان در طول مدت زلزله که به صورت موردی برای ستون کوتاه طبقه‌ی اول سازه‌ی ٤ طبقه در شکل (۲۲) ارائه شده نتیجه می‌شود که متوسط تاریخچه‌ی نیروی برشی در ستون کوتاه طبقه‌ی اول در سازه‌ی ٤ طبقه و ستون کوتاه طبقه‌ی وسط در سازه‌ی ۸ طبقه و ستون کوتاه طبقه‌ی

آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه، بیشترین مقادیر را نسبت به سایر ستون‌های کوتاه دارا می‌باشند. همچنین نکته‌ی حائز اهمیت این است‌که در سازه‌های ۸ و۱۰ طبقه، متوسط تاریخچه‌ی نیروی برشی در ستون کوتاه طبقات آخر و وسط و در سازه‌ی ٤ طبقه، ستون کوتاه طبقات اول و وسط در شتاب ۰/۵g بیشتر از شتاب ۰/۷g است که این مقدار حدود ۳۵ تا ۵۰ ٪ می‌باشد.

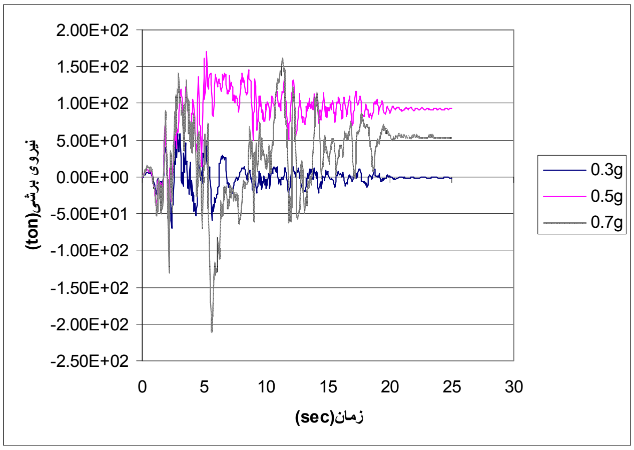
از مقایسه‌ی نتایج حاصل از تاریخچه‌ی نیروی برشی در ستون‌های کوتاه طبقات مختلف در سازه‌های ٤، ۸ و ۱۰ طبقه در جدول شماره‌ی (٤) نتیجه می‌شود که تاریخچه‌ی نیروی برشی در ستون کوتاه طبقه اول در سازه‌ی ٤ طبقه و ستون کوتاه طبقه‌ی وسط در سازه‌ی ۸ طبقه، و ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در سازه ۱۰ طبقه، بیشترین مقدار را نسبت به سایر سازه‌ها دارند. برای مثال در سازه‌ی ۱۰ طبقه، متوسط پاسخ نیروی برشی در ستون کوتاه طبقه‌ی آخر، حدود ۵۲ ٪ بیشتر از سازه‌های ۸ طبقه و ۸۰ ٪ بیشتر از سازه‌ی ٤ طبقه است.



شکل ۲۰ سهم ستون‌های کوتاه در خرابی کل سازه برحسب تعداد طبقات سازه‌ها



شکل ۲۱ تاریخچه‌ی پاسخ تغییر مکان جانبی ستون کوتاه طبقه‌ی اول در سازه‌ی ٤ طبقه



شکل ۲۲ تاریخچه‌ی پاسخ نیروی برشی ستون کوتاه طبقه‌ی اول در سازه‌ی ٤ طبقه

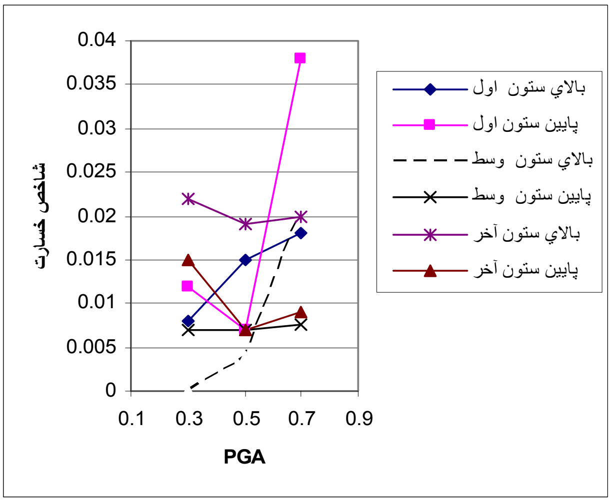
جدول ۳ افزایش تاریخچه‌ی پاسخ تغییر مکان ستون‌های کوتاه در سازه‌ها نسبت به یکدیگر

ستون کوتاه	سازه‌ی ٤ طبقه	سازه‌ی ۸ طبقه	سازه‌ی ۱۰ طبقه
طبقه‌ی اول	افزایش نسبت به سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه	٪ ۳۰	٪ ۳٥
طبقه‌ی وسط	افزایش نسبت به سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه	٪ ۳۳	٪ ٥٥
طبقه‌ی آخر	٪ ٥٦	٪ ۲٦	افزایش نسبت به سازه‌های ٤ و ۸ طبقه

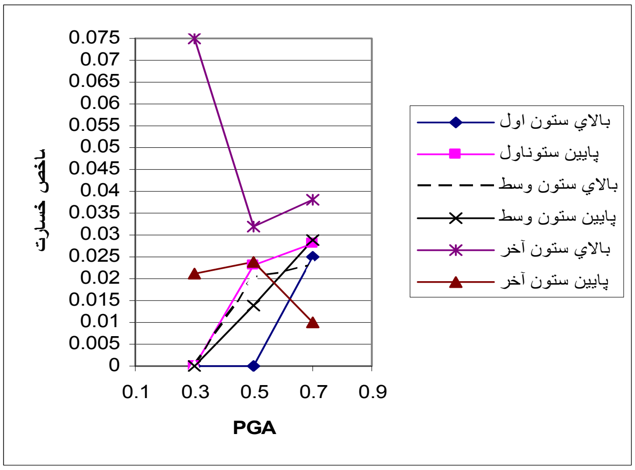
جدول ٤ افزایش تاریخچه پاسخ نیروی برشی ستون‌های کوتاه در سازه‌ها نسبت به یکدیگر

ستون کوتاه	سازه‌ی ٤ طبقه	سازه‌ی ۸ طبقه	سازه‌ی ۱۰ طبقه
طبقه‌ی اول	افزایش نسبت به سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه	٪ ۳۳	٪ ۱۷
طبقه‌ی وسط	٪ ۹٤	افزایش نسبت به سازه‌های ٤ و ۱۰ طبقه	٪ ٦۸
طبقه‌ی آخر	٪ ۸۰	٪ ٥۳	افزایش نسبت به سازه‌های ٤ و ۸ طبقه

شاخص خسارت در بالا و پایین ستون‌های کوتاه طبقات آخر، وسط و اول سازه‌ها. با بررسی خسارت در بخش‌های بالایی و پایینی ستون‌های کوتاه طبقات اول، وسط و آخردر نواحی بحرانی اتصال ستون به تیر که به صورت موردی برای سازه‌های ٤ و ۸ طبقه، مطابق شکل‌های (۲۳) و (۲٤) ارائه شده، نتیجه می‌شود که عمده‌ی خسارت در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه متوجه ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در قسمت بالایی آن به‌دلیل وجود نیروی شلاقی و عدم توزیع یکنواخت نیروی زلزله در ارتفاع شده است. در ستون کوتاه طبقه وسط با افزایش ارتفاع و تعداد طبقات سازه، خسارت در نواحی بالا و پایین آن کاهش یافته است؛ به طوری که در شتاب‌های ۰/۳g و ۰/٥g، ستون کوتاه طبقه‌ی وسط، دارای کمترین خسارت و حتی می‌توان گفت فاقد خسارت است و میزان خرابی در نواحی بالا و پایین آن، تقریباً یکسان است. در ستون کوتاه طبقه‌ی اول در قسمت بالا و پایینی سازه‌ی ٤ طبقه در همه‌ی شتاب ها دچار خرابی شده است، ولی در سازه‌های ۸ و۱۰ طبقه، خرابی در قسمت های بالا و پایین، فقط در شتاب‌های بالا ۰/۷g، دیده می‌شود؛ به طوری که در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه در شتاب‌های ۰/٥g و ۰/۳g ستون کوتاه طبقه اول در قسمت بالا و پایین، فاقد خرابی است. علاوه بر این، حداکثر خسارت در قسمت پایینی ستون‌های کوتاه طبقه‌ی اول در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه رخ می‌دهد.



شکل ۲۳ شاخص خسارت در بالا و پایین ستون کوتاه سازه‌ی ٤ طبقه



شکل ٢٤ شاخص خسارت در بالا و پایین ستون کوتاه سازه‌ی ٨ طبقه

نتیجه‌گیری

نتاج حاصل از شتاب‌نگاشت زلزله‌ی طبس.

۱. در شتاب‌های ۰/۵g و ۰/۳g با کاهش ارتفاع سازه، سهم ستون کوتاه در خرابی کل سازه افزایش یافته و در شتاب ۰/۷g با افزایش ارتفاع سازه، سهم ستون کوتاه در خرابی کل سازه افزایش می‌یابد.

۲. متوسط تاریخچه‌ی پاسخ تغییر مکان ستون کوتاه طبقات اول و وسط در سازه‌ی ٤ طبقه و ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه، دارای بیشترین مقدار نسبت به سایر سازه‌ها می‌باشد.

۳. متوسط تاریخچه‌ی نیروی برش در ستون کوتاه طبقه اول در سازه‌ی ۸ طبقه و ستون کوتاه طبقات وسط و آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه، دارای بیشترین مقدار نسبت به سایر سازه‌ها می‌باشد. همچنین در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه، تاریخچه‌ی نیروی برشی در ستون کوتاه طبقات وسط و آخر در شتاب ۰/۵g بیشتر از شتاب ۰/۷g است.

٤. در سازه‌ی ٤ طبقه، قسمت پایین ستون کوتاه اول و در سازه‌ی ۸ و ۱۰ طبقه، قسمت بالایی ستون کوتاه وسط و آخر، دچار بیشترین خسارت می‌گردند و تقریباً

خسارت در بالا و پایین ستون کوتاه وسط در همه‌ی سازه‌ها یکسان است و خسارت آن از ستون اول و آخر کم‌تر است.

نتاج حاصل از شتاب‌نگاشت زلزله السنترو.

۱. میزان خسارت ستون‌های کوتاه در طبقات مختلف سازه‌ها با افزایش ارتفاع و شتاب زلزله افزایش می‌یابد، به جز در سازه‌ی ۸ طبقه که در شتاب ۰/۳g ستون کوتاه آخر، بیشترین مقدار خسارت را نسبت به ۰/۵g و ۰/۷g متحمل می‌شود.

۲. در شتاب ۰/۳g با کاهش ارتفاع سازه، سهم ستون کوتاه در خرابی کل سازه افزایش و در شتاب‌های ۰/۵g و ۰/۷g با افزایش ارتفاع سازه، سهم ستون کوتاه در خرابی کل افزایش می‌یابد.

۳. متوسط تاریخچه‌ی پاسخ تغییر مکان ستون کوتاه طبقات اول و وسط در سازه‌ی ٤ طبقه و ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه، دارای بیشترین مقدار نسبت به سایر سازه‌ها می‌باشد.

٤. متوسط تاریخچه‌ی نیروی برش ستون کوتاه طبقه‌ی اول در سازه‌ی ٤ طبقه، ستون کوتاه طبقه وسط در سازه ۸ طبقه و ستون کوتاه طبقه‌ی آخر در سازه‌ی ۱۰ طبقه، دارای بیشترین مقدار نسبت به سایر سازه‌ها می‌باشد. همچنین در سازه‌های ۸ و۱۰ طبقه‌ی تاریخچه‌ی نیروی برشی ستون کوتاه طبقات وسط و آخر در شتاب ۰/۵g بیشتر از شتاب ۰/۷g است.

۵. قسمت بالایی ستون کوتاه آخر و قسمت پایینی ستون کوتاه طبقه‌ی اول در سازه‌های ۸ و ۱۰ طبقه دارای خسارت بیشتری است و تقریباً خسارت در بالا و پایین ستون کوتاه طبقه‌ی وسط در همه سازه‌ها تقریباً یکسان و دارای کمترین مقدار است و خسارت آن از ستون طبقات اول و آخر کمتر است.

مراجع

۱. خیرالدین، علی . میر نظامی، علیرضا، " بررسی رفتار لرزه ای ساختمان های فلزی با اختلاف تراز" ، سومین همایش ملی نقد و بررسی آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ، تهران ، اسفند، (۱۳۸۱).

2. Moretti, M., and Tassios TP. "Behaviour of short columns subjected to cyclic shear displacements: Experimental results." Engineering Structures:29;2018-2029 ,(2007) .

3. Moretti, M., and Tassios TP. "Behaviour and ductility of reinforced concrete short columns using global truss model." *ACI Structural Journal*.;103 :319-327, (2006).

4. Colomb, F., Tobbi, H., Ferrier, E., and Hamelin, P., "Seismic retrofit of reinforced concrete short columns by CFRP materials." Composite Structures :82: 475-487, (2008).

5. Promis, G., Ferrier, E., and Hamelin, P., "Effect of external FRP retrofitting on reinforced concrete short columns for seismic strengthening." Composite Structures : In Press, (2008).

6. Galal, K., Arafa, A., and Ghobarah, A., "Retrofit of RC square short columns." Engineering Structures.;27:801-813, (2005).

7. Ghobarah, A., and Galal, K .,"Seismic rehabilitation of short rectangular RC columns." *Journal of Earthquake Engineering*.;8:45-68,(2004).

8. Lieping, Ye., Qingrui, Yue., shuhong, Zhao., and Quanwang, Li ., "Shear strength of reinforced concrete columns strengthened with carbon Fiber Reinforced plastic sheet." *Journal of Structural Engineering*.;128: 1527-1534 ,(2002).

9. Galal, K., Ghobarah, A ., "Flexural and shear hysteretic behaviour of reinforced concrete columns with variable axial load." Engineering Structures.;25:1353-1367, (2003).

۱۰. بخشی، علی، تابش پور، محمد رضا، " ارزیابی محاسباتی شکست ستون کوتاه در هنگام زلزله"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله. سال هشتم، شماره اول، بهار (۱۳۸٤).

۱۱. برقی، مصطفی، عباس نیا، رضا، "پیش بینی نوع انهدام ستون های بتن آرمه تحت اثر بار جانبی دوره ای" ، هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، اردیبهشت(۱۳۸۵).

۱۲. خیرالدین، علی، میر نظامی، علیرضا، " بررسی رفتار غیر خطی اتصالات قاب با اختلاف تراز طبقه در ساختمانهای دوبلکسی" ، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت(۱۳۸۳).

۱۳. آئین نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ایران ، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن(۱۳۸٤).

۱٤. مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان، وزارت مسکن و شهر سازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، شهریور (۱۳۸۵) .

15. Valles, RE., Reinhorn, AM., Kunnath, SK., Li, G., and Madan, A .," IDARC 2D: A Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings", State University of New York at Buffalo, (1996).

۱٦. مقدم، حسن، "مهندسی زلزله" ، نشر فرهنگ، (۱۳۸٤).

۱۷. کارگران، علی، "عملکرد لرزه ای غیرخطی ستون کوتاه در سازه های بتن آرمه" ، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، بهمن (۱۳۸٦).